

#2

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

PCT/EP 03/10970

PCT/EP 03/10970

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 30 OCT 2003
WIPO PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen:

102 48 733.2

Anmeldetag:

18. Oktober 2002

Anmelder/Inhaber:

LITEF GmbH, Freiburg im Breisgau/DE

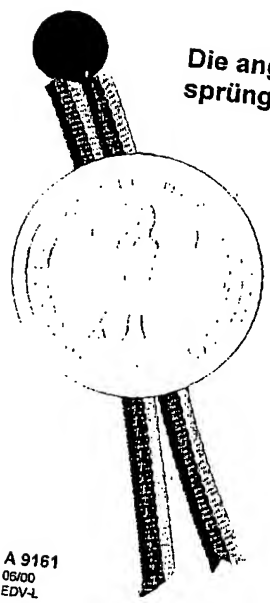
Bezeichnung:

Verfahren zur elektronischen Abstimmung der Aus-
leseschwingungsfrequenz eines Corioliskreisels

IPC:

G 01 C, G 01 P

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.



München, den 13. Oktober 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Faust

MÜLLER . HOFFMANN & PARTNER - PATENTANWÄLTE

European Patent Attorneys - European Trademark Attorneys

Innere Wiener Strasse 17
D-81667 München

Anwaltsakte: 53.972

Anmelderzeichen: LTF-190-DE

Mü/My/rs
18.10.2002

LITEF GmbH

Lörracher Str. 18
D-79115 Freiburg

**Verfahren zur elektronischen Abstimmung
der Ausleseschwingungsfrequenz eines Corioliskreisels**

Beschreibung

- 1 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur elektronischen Abstimmung der Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung bei einem Corioliskreisel.
- 5 Corioliskreisel (auch Vibrationskreisel genannt) werden in zunehmendem Umfang zu Navigationszwecken eingesetzt; sie weisen ein Massensystem auf, das in Schwingungen versetzt wird. Diese Schwingung ist in der Regel eine Überlagerung einer Vielzahl von Einzelschwingungen. Diese Einzelschwingungen des Massensystems sind zunächst voneinander unabhängig und lassen sich jeweils abstrakt als "Resonatoren" auffassen. Zum Betrieb eines Vibrationskreisels sind wenigstens zwei Resonatoren erforderlich: einer dieser Resonatoren (erster Resonator) wird künstlich zu Schwingungen angeregt, die im Folgenden als "Anregungsschwingung" bezeichnet wird. Der andere Resonator (zweiter Resonator) wird nur dann zu Schwingungen angeregt, wenn der Vibrationskreisel bewegt/gedreht wird. In diesem Fall treten nämlich Corioliskräfte auf, die den ersten Resonator mit dem zweiten Resonator koppeln, der Anregungsschwingung des ersten Resonators Energie entnehmen und diese auf die Ausleseschwingung des zweiten Resonators übertragen. Die Schwingung des zweiten Resonators wird im Folgenden als "Ausleseschwingung" bezeichnet. Um Bewegungen (insbesondere Drehungen) des Corioliskreisels zu ermitteln, wird die Ausleseschwingung abgegriffen und ein entsprechendes Auslesesignal (z. B. das Ausleseschwingungs-Abgriffsignal) daraufhin untersucht, ob Änderungen in der Amplitude der Ausleseschwingung, die ein Maß für die Drehung des Corioliskreisels darstellen, aufgetreten sind. Corioliskreisel können sowohl als Open-Loop-System als auch als Closed-Loop-System realisiert werden. In einem Closed-Loop-System wird über jeweilige Regelkreise die Amplitude der Ausleseschwingung fortlaufend auf einen festen Wert – vorzugsweise null – rückgestellt.

Im Folgenden wird zur weiteren Verdeutlichung der Funktionsweise eines Corioliskreisels unter Bezugnahme auf Figur 2 ein Beispiel eines Corioliskreisels in Closed-Loop-Ausführung beschrieben.

Ein solcher Corioliskreisel 1 weist ein in Schwingungen versetzbares Massensystem 2 auf, das im Folgenden auch als "Resonator" bezeichnet wird. Diese Be-

1 zeichnung ist zu unterscheiden von den oben erwähnten "abstrakten" Resonatoren, die Einzelschwingungen des "echten" Resonators darstellen. Wie bereits erwähnt, kann der Resonator 2 als System aus zwei "Resonatoren" (erster Resonator 3 und zweiter Resonator 4) aufgefasst werden. Sowohl der erste als auch der
5 zweite Resonator 3, 4 sind jeweils an einen Kraftgeber (nicht gezeigt) und an ein Abgriffssystem (nicht gezeigt) gekoppelt. Das Rauschen, das durch die Kraftgeber und die Abgriffssysteme erzeugt wird, ist hier durch Noise1 (Bezugszeichen 5) und Noise2 (Bezugszeichen 6) schematisch angedeutet.

10 Der Corioliskreis 1 weist des Weiteren vier Regelkreise auf:

Ein erster Regelkreis dient zur Regelung der Anregungsschwingung (d.h. der Frequenz des ersten Resonators 3) auf eine feste Frequenz (Resonanzfrequenz). Der erste Regelkreis weist einen ersten Demodulator 7, ein erstes Tiefpassfilter
15 8, einen Frequenzregler 9, einen VCO ("Voltage Controlled Oscillator") 10 und einen ersten Modulator 11 auf.

Ein zweiter Regelkreis dient zur Regelung der Anregungsschwingung auf eine konstante Amplitude und weist einen zweiten Demodulator 12, ein zweites Tiefpassfilter 13 und einen Amplitudenregler 14 auf.

Ein dritter und ein vierter Regelkreis dienen zur Rückstellung derjenigen Kräfte, die die Ausleseschwingung anregen. Dabei weist der dritte Regelkreis einen dritten Demodulator 15, ein drittes Tiefpassfilter 16, einen Quadraturregler 17 und
25 einen zweiten Modulator 18 auf. Der vierte Regelkreis enthält einen vierten Demodulator 19, ein viertes Tiefpassfilter 20, einen Drehratenregler 21 und einen dritten Modulator 22.

Der erste Resonator 3 wird mit dessen Resonanzfrequenz ω_1 angeregt. Die resultierende Anregungsschwingung wird abgegriffen, mittels des ersten Demodulators 7 in Phase demoduliert, und ein demoduliertes Signalanteil wird dem ersten Tiefpassfilter 8 zugeführt, der daraus die Summenfrequenzen entfernt. Das abgegriffene Signal wird im Folgenden auch als Anregungsschwingungs-Abgriffsignal bezeichnet. Ein Ausgangssignal des ersten Tiefpassfilters 8 beaufschlagt
30 einen Frequenzregler 9, der in Abhängigkeit des ihm zugeführten Signals den VCO 10 so regelt, dass die In-Phase-Komponente im Wesentlichen zu Null wird. Dazu gibt der VCO 10 ein Signal an den ersten Modulator 11, der seinerseits ei-

- 1 nen Kraftgeber so steuert, dass der erste Resonator 3 mit einer Anregungskraft beaufschlagt wird. Ist die In-Phase-Komponente Null, so schwingt der erste Resonator 3 auf seiner Resonanzfrequenz ω_1 . Es sei erwähnt, dass sämtliche Modulatoren und Demulatoren auf Basis dieser Resonanzfrequenz ω_1 betrieben werden.

Das Anregungsschwingungs-Abgriffssignal wird des Weiteren dem zweiten Regelkreis zugeführt und durch den zweiten Demodulator 12 demoduliert, dessen Ausgabe das zweite Tiefpassfilter 13 passiert, dessen Ausgangssignal wiederum dem Amplitudenregler 14 zugeführt wird. In Abhängigkeit dieses Signals und eines Soll-Amplitudengebers 23 regelt der Amplitudenregler 14 den ersten Modulator 11 so, dass der erste Resonator 3 mit einer konstanten Amplitude schwingt (d.h. die Anregungsschwingung weist eine konstante Amplitude auf).

- 15 Wie bereits erwähnt wurde, treten bei Bewegung/Drehungen des Corioliskreisels 1 Corioliskräfte – in der Zeichnung durch den Term $FC \cdot \cos(\omega_1 \cdot t)$ angedeutet – auf, die den ersten Resonator 3 mit dem zweiten Resonator 4 koppeln und damit den zweiten Resonator 4 zum Schwingen anregen. Eine resultierende Ausleseschwingung der Frequenz ω_2 wird abgegriffen, sodass ein entsprechendes Ausleseschwingungs-Abgriffssignal (Auslesesignal) sowohl dem dritten als auch dem vierten Regelkreis zugeführt wird. Im dritten Regelkreis wird dieses Signal durch den dritten Demodulator 15 demoduliert, Summenfrequenzen durch das dritte Tiefpassfilter 16 entfernt und das tiefpassgefilterte Signal dem Quadraturregler 17 zugeführt, dessen Ausgangssignal den dritten Modulator 22 so beaufschlagt, dass entsprechende Quadraturanteile der Ausleseschwingung rückgestellt werden. Analog hierzu wird im vierten Regelkreis das Ausleseschwingungs-Abgriffssignal durch den vierten Demodulator 19 demoduliert, durchläuft das vierte Tiefpassfilter 20, und ein entsprechend tiefpassgefiltertes Signal beaufschlagt einerseits den Drehratenregler 21, dessen Ausgangssignal proportional zur momentanen Drehrate ist und als Drehraten-Messergebnis auf einen Drehratenausgang 24 gegeben wird, und andererseits den zweiten Modulator 18, der entsprechende Drehratenanteile der Ausleseschwingung rückstellt.

- Ein Corioliskreisels 1 wie oben beschrieben kann sowohl doppelresonant als auch nichtdoppelresonant betrieben werden. Wird der Corioliskreisels 1 doppelresonant betrieben, so ist die Frequenz ω_2 der Ausleseschwingung annähernd gleich der Frequenz ω_1 der Anregungsschwingung, wohingegen im nichtdoppel-

1 resonanten Fall die Frequenz ω_2 der Ausleseschwingung verschieden von der Frequenz ω_1 der Anregungsschwingung ist. Im Fall der Doppelresonanz beinhaltet das Ausgangssignal des vierten Tiefpassfilters 20 entsprechende Information über die Drehrate, im nichtdoppelresonanten Fall dagegen das Ausgangssignal des dritten Tiefpassfilters 16. Um zwischen den unterschiedlichen Betriebsarten doppelresonant/nichtdoppelresonant umzuschalten, ist ein Doppelschalter 25 vorgesehen, der die Ausgänge des dritten und vierten Tiefpassfilters 16, 20 wahlweise mit dem Drehratenregler 21 und dem Quadraturregler 17 verbindet.

10 Wenn der Corioliskreisler 1 doppelresonant betrieben werden soll, muss - wie erwähnt - die Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung abgestimmt werden. Dies kann beispielsweise auf mechanischem Wege erfolgen, in dem Material am Massensystem (dem Resonator 2) abgetragen wird. Alternativ hierzu kann die Frequenz der Ausleseschwingung auch mittels 15 eines elektrischen Feldes, in dem der Resonator 2 schwingbar gelagert ist, also durch Änderung der elektrischen Feldstärke, eingestellt werden. Damit ist es möglich, auch während des Betriebs des Corioliskreislers 1 eine elektronische Abstimmung der Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung durchzuführen.

20

Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe ist es, ein Verfahren bereit zu stellen, mit dem in einem Corioliskreisler die Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung elektronisch abgestimmt werden kann.

25

Diese Aufgabe wird durch das Verfahren gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst. Ferner stellt die Erfindung einen Corioliskreisler gemäß Patentanspruch 11 bereit. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen des Erfindungsgedankens finden sich in jeweiligen Unteransprüchen.

30

Erfindungsgemäß wird bei einem Verfahren zur elektronischen Abstimmung der Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung in einem Corioliskreisler der Resonator des Corioliskreislers mittels einer Störkraft so beaufschlagt, dass a) die Anregungsschwingung im Wesentlichen unbeeinflusst bleibt, und b) die Ausleseschwingung so geändert wird, dass ein die Ausleseschwingung repräsentierendes Auslesesignal einen entsprechenden Störanteil enthält, wobei die Frequenz der Ausleseschwingung so geregelt wird, dass

35

- 1 die Größe des in dem Auslesesignal enthaltenen Störanteils möglichst klein wird.

Eine der Erfindung zugrunde liegende wesentliche Erkenntnis ist, dass eine
5 künstliche Änderung der Ausleseschwingung im Drehraten- oder Quadraturkanal um so stärker insbesondere im jeweils dazu orthogonalen Kanal sichtbar ist, je weniger die Frequenz der Ausleseschwingung mit der Frequenz der Anregungsschwingung übereinstimmt. Die "Durchschlagsstärke" einer derartigen Störung auf das Ausleseschwingsungs-Abgriffsignal (insbesondere auf den or-
10 thogonalen Kanal) ist also ein Maß dafür, wie genau die Frequenz der Ausleseschwingung mit der Frequenz der Anregungsschwingung übereinstimmt. Wenn man also die Frequenz der Ausleseschwingung so regelt, dass die Durchschlagsstärke ein Minimum annimmt, d.h. dass die Größe des in dem Ausleseschwingsungs-Abgriffsignal enthaltenen Störanteils minimal wird, so ist damit gleichzei-
15 tig die Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung im Wesentlichen abgestimmt.

Wesentlich hierbei ist, dass die Störkräfte auf den Resonator lediglich die Ausleseschwingung, nicht jedoch die Anregungsschwingung ändern. Unter Bezugnahme auf Fig. 2 bedeutet dies, dass die Störkräfte nur den zweiten Resonator 4 be-
20 aufschlagen, nicht jedoch den ersten Resonator 3.

Vorzugsweise wird die Störkraft durch ein Störsignal erzeugt, das entsprechenden Kraftgebern zugeführt wird bzw. auf Signale, die den Kraftgebern zugeführt werden, aufaddiert wird. Beispielsweise kann, um die Störkraft zu erzeugen, ein Störsignal auf jeweilige Regel-/Rückstellsignale zur Regelung/Kompensation der Ausleseschwingung aufaddiert werden.

Vorzugsweise ist das Störsignal ein Wechsignal, beispielsweise eine Überlagerung von Sinus- bzw. Kosinussignalen. Diese Störsignal weist in der Regel eine
30 feste Störfrequenz auf, womit der Störanteil des Ausleseschwingsungs-Abgriffsignals durch einen entsprechenden Demodulationsprozess, der bei besagter Störfrequenz erfolgt, ermittelt werden kann. Eine Alternative ist, anstelle eines Wechsignals bandbegrenztes Rauschen zu verwenden. In diesem Fall erfolgt
35 die Demodulation des Störanteils aus dem Auslesesignal durch Korrelation des Störsignals (Rauschsignals) mit dem Auslesesignal (dem Signal, das den Störanteil enthält). Die Bandbreite des Rauschens hängt hierbei von den Eigenschaften des Resonators 2 und der Regelkreise ab.

1

Das oben beschriebene Verfahren kann sowohl auf einen Open-Loop- als auch auf einen Closed-Loop-Corioliskreisel angewandt werden. Im letzteren Fall wird das Störsignal vorzugsweise auf jeweilige Regel-/Rückstellsignale zur Regelung/Kompensation der Ausleseschwingung, aufaddiert. Beispielsweise kann das Störsignal zum Ausgangssignal eines Drehratenregelkreises hinzuaddiert, und der Störanteil aus einem Signal ermittelt werden, das an einem Quadraturregler eines Quadraturregelkreises anliegt oder von diesem ausgegeben wird. Umgekehrt kann das Störsignal zum Ausgangssignal des Quadraturregelkreises hinzuaddiert, und der Störanteil aus einem Signal ermittelt werden, das an einem Drehratenregler des Drehratenregelkreises anliegt oder von diesem ausgegeben wird. Alternativ hierzu kann das Störsignal auf das Ausgangssignal des Quadraturregelkreises aufaddiert, und der Störanteil aus einem Signal ermittelt werden, das an einem Quadraturregler des Quadraturregelkreises anliegt oder von diesem ausgegeben wird. Ferner ist es möglich, das Störsignal zum Ausgangssignal des Drehratenregelkreises hinzuzuaddieren, und den Störanteil aus einem Signal zu ermitteln, das an einem Drehratenregler des Drehratenregelkreises anliegt oder von diesem ausgegeben wird. Der Begriff "Auslesesignal" beinhaltet alle in diesem Absatz angeführten Signale, aus denen der Störanteil ermittelt werden kann. Zusätzlich beinhaltet der Begriff "Auslesesignal" das Ausleseschwings-Abgriffssignal.

Die Frequenzregelung der Ausleseschwingung, d.h. die Kraftübertragung der zur Frequenzregelung nötigen Regelkräfte erfolgt hierbei durch Regelung der Stärke eines elektrischen Felds, in dem mindestens ein Teil des Resonators schwingt, wobei eine elektrische Anziehungskraft zwischen dem Resonator und einem den Resonator umgebenden rahmenfesten Gegenstück vorzugsweise nichtlinear ist.

Die Erfindung stellt weiterhin einen Corioliskreisel bereit, der einen Drehratenregelkreis und einen Quadraturregelkreis aufweist und gekennzeichnet ist durch eine Einrichtung zur elektronischen Abstimmung der Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung. Die Einrichtung zum elektronischen Abstimmen weist hierbei auf:

- eine Störeinheit, die auf den Drehratenregelkreis oder den Quadraturregelkreis ein Störsignal gibt,
- eine Störsignal-Detektiereinheit, die einen Störanteil ermittelt, der in einem die Ausleseschwingung repräsentierenden Auslesesignal enthalten ist und

1 durch das Störsignal erzeugt wurde, und
- eine Regeleinheit, die die Frequenz der Ausleseschwingung so regelt, dass die Größe des in dem Auslesesignal enthaltenen Störanteils möglichst klein wird.

5

Vorzugsweise gibt die Störeinheit das Störsignal auf den Quadraturregelkreis, wobei dann die Störsignal-Detektiereinheit den Störanteil aus einem Signal ermittelt, das an einem Drehratenregler des Drehratenregelkreises anliegt oder von diesem ausgegeben wird. Umgekehrt kann die Störeinheit das Störsignal auf den

10 Drehratenregelkreis geben, und die Störsignal-Detektiereinheit den Störanteil aus einem Signal ermitteln, das an einem Quadraturregler des Quadraturregelkreises anliegt oder von diesem ausgegeben wird. Ferner kann die Störeinheit das Störsignal auf den Drehratenregelkreis geben, und die Störsignal-Detektiereinheit den Störanteil aus einem Signal ermitteln, das an einem Drehratenregler des Drehratenregelkreises anliegt oder von diesem ausgegeben wird. Eine weitere Alternative ist, das Störsignal durch die Störeinheit auf den Quadraturregelkreis zu geben, wobei dann die Störsignal-Detektiereinheit den Störanteil aus einem Signal ermittelt, das an einem Quadraturregler des Quadraturregelkreises anliegt oder von diesem ausgegeben wird.

20

Vorzugsweise ist das Störsignal ein Wechsignalsignal mit einer festen Störfrequenz, wobei in diesem Fall die Einrichtung zur elektronischen Abstimmung von Ausleseschwingungs- und Anregungsschwingungsfrequenz vorteilhafterweise eine Demodulationseinheit aufweist, die das Auslesesignal bei der festen Störfrequenz demoduliert und damit den im Auslesesignal enthaltenen Störanteil ermittelt. Das Störsignal kann prinzipiell an einer beliebigen Stelle in die Regelkreise (Drehratenregelkreis und einen Quadraturregelkreis) eingeführt werden.

30 Im Folgenden wird unter Bezugnahme auf die begleitenden Figuren die Erfindung in beispielsweiser Ausführungsform näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 den schematischen Aufbau eines Corioliskreisels, der auf dem erfindungsgemäßen Verfahren basiert;

35 **Figur 2** den schematischen Aufbau eines herkömmlichen Corioliskreisels.

Zunächst wird unter Bezugnahme auf Figur 1 das erfindungsgemäße Verfahren

1 in beispielsweise Ausführungsform näher erläutert. Dabei sind Teile bzw. Einrichtungen, die denen aus Figur 2 entsprechen, mit den selben Bezugszeichen gekennzeichnet und werden nicht nochmals erläutert.

5 Ein Corioliskreis 1' ist zusätzlich mit einer Störeinheit 26, einer Demodulationseinheit 27 und einem Ausleseschwings-Frequenzregler 28 versehen.

Die Störeinheit 26 erzeugt ein Wechselsignal mit einer Frequenz ω_{mod} , das auf das Ausgangssignal eines Quadraturreglers 21 (d.h. am Kraftausgang der Quadraturregelung) aufaddiert wird. Das somit erhaltene zusammengesetzte Signal wird einem (dritten) Modulator 22 zugeführt, dessen entsprechendes Ausgangssignal einen Kraftgeber (nicht gezeigt) und damit den Resonator 2 beaufschlagt. Sofern die Frequenz der Ausleseschwingung nicht im Wesentlichen mit der Frequenz der Anregungsschwingung übereinstimmt, wird das durch die Störungs-
10 Modulationseinheit 26 erzeugte Wechselsignal nach "Durchgang" durch den Resonator 2 in Form eines Störanteils des Ausleseschwings-Abgriffsignals beobachtet. Das Ausleseschwings-Abgriffsignal wird einem Demodulationsprozess unterzogen, der durch einen vierten Demodulator 19 ausgeführt wird, und einem vierten Tiefpassfilter 20 zugeführt, dessen Ausgangssignal sowohl einen
15 Drehratenregler 21 als auch die Demodulationseinheit 27 beaufschlagt. Das der Demodulationseinheit 27 zugeführte Signal wird mit einer Modulationsfrequenz ω_{mod} , die der Frequenz des durch die Störeinheit 26 erzeugten Wechselsignals entspricht, demoduliert. Damit wird der Störanteil bzw. das Signal, das die Störung repräsentiert, ermittelt. Die Demodulationseinheit 27 ist in diesem Beispiel
20 somit als Störsignal-Detektiereinheit anzusehen. Ein Ausgangssignal der Demodulationseinheit 27 wird dem Ausleseschwings-Frequenzregler 28 zugeführt, der in Abhängigkeit davon die Frequenz der Ausleseschwingung so einstellt, dass das Ausgangssignal der Demodulationseinheit 27, d.h. die Stärke des beobachteten Störanteils, minimal wird. Ist ein derartiges Minimum erreicht, so
25 stimmen die Frequenzen von Anregungsschwingung und Ausleseschwingung im Wesentlichen überein. Das der Demodulationseinheit 27 zugeführte Signal kann alternativ zum Signal, das dem Drehratenregler 21 zugeführt wird, auch das Signal sein, das der Drehratenregler 21 ausgibt.

35 Wie bereits erwähnt, kann alternativ hierzu das durch die Störeinheit 26 erzeugte Wechselsignal auch auf ein Ausgangssignal des Drehratenreglers 21 aufaddiert werden. In diesem Fall wäre das der Demodulationseinheit 27 zugeführte Signal am Eingang oder Ausgang des Quadraturreglers 17 abzugreifen.

- 1 Ferner ist es prinzipiell möglich, das Störsignal (hier das Wechselsignal, jedoch auch andere Störsignale wie bandbegrenztes Rauschen sind möglich) an einer beliebigen Stelle in den Quadraturregelkreis einzuspeisen (nicht nur unmittelbar vor dem dritten Modulator 22), d. h. an einer beliebigen Stelle zwischen dem
- 5 Abgriff für die Ausleseschwingung und dem dritten Modulator 22. Analoge Überlegungen gelten für den Fall, das Störsignal in den Drehratenregelkreis einzuspeisen.

- Es ist vorteilhaft, nach dem Einschalten des Corioliskreisels 1' die Modulationsfrequenz ω_{mod} des Wechselsignals auf einen hohen Wert zu setzen, um eine schnelle Grobregelung der Frequenz der Ausleseschwingung zu erzielen. Dann kann auf eine relativ niedrige Modulationsfrequenz ω_{mod} umgeschaltet werden, um eine Resonanz der Ausleseschwingung genau einzustellen. Zudem kann nach einer gewissen Zeit nach Einlaufen des Drehratenreglers 21 bzw. des Quadraturreglers 17 die Amplitude der Modulationsfrequenz ω_{mod} stark reduziert werden. Da das Wechselsignal am Ausgang des Drehratenregelkreises, d.h. des dritten Regelkreises kompensiert wird, ist im Allgemeinen kein Sperrfilter für die Modulationsfrequenz ω_{mod} im Drehratenregelkreis erforderlich.
- 10
- 15

- 20 Der Drehratenregler 21 hat gleichzeitig den Effekt, dass der dritte Demodulator 15 und der vierte Demodulator 19 den Kraftgebern für den Drehratenregelkreis (Kosinus-Kräfte) und Quadraturregelkreis (Sinus-Kräfte) phasenrichtig zugeordnet werden. Auf diese Weise können der Drehraten (vierter Regelkreis)- und Quadraturregelkreis (dritter Regelkreis) getrennt werden, auch wenn in der
- 25 Analogelektronik des Corioliskreisels 1' Phasenverschiebungen auftreten, die sich insbesondere temperaturbedingt ändern können. Im Allgemeinen wird ein hoher Bias im Quadraturregelkreis auftreten. Sind dieser Regelkreis und der Drehratenregelkreis nicht sauber voneinander getrennt, erscheint dieser Bias auch im Drehratenregelkreis.

30

- Auch wenn keine elektronische Frequenzabstimmung zwischen Anregungsschwingung und Ausleseschwingung erwünscht ist, kann der beschriebene Regelmechanismus zur Orthogonalisierung von Quadratur- und Drehratenregelkreis Verwendung finden. In diesem Fall ist die geregelte Größe die Referenzphase des dritten und vierten Demodulators 15, 19, die jeweils für Quadraturanteile und Drehratenanteile der Ausleseschwingung "zuständig" sind. Diese Regelung erfolgt vorzugsweise digital in einem Signalprozessor (DSP) und macht
- 35

- 1 den Corioliskreisels bezüglich Phasenverschiebungen in der Analogelektronik unempfindlich.

- Bei einem zweiten, alternativen Verfahren zur elektronischen Abstimmung der
- 5 Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung in einem Corioliskreisels wird der Resonator des Corioliskreisels mittels einer Störkraft so beaufschlagt, dass a) die Anregungsschwingung im Wesentlichen unbeeinflusst bleibt, und b) die Ausleseschwingung so geändert wird, dass ein die Ausleseschwingung repräsentierendes Auslesesignal einen entsprechenden
- 10 Störanteil enthält, wobei die Frequenz der Ausleseschwingung so geregelt wird, dass eine Phasenverschiebung zwischen einem Störsignal, das die Störkraft erzeugt, und dem im Auslesesignal enthaltenen Störanteil möglichst klein wird.

- Unter "Resonator" wird hierbei das gesamte in Schwingung versetzbare Massensystem (oder ein Teil davon) des Corioliskreisels verstanden – also der mit Bezugsziffer 2 gekennzeichnete Teil des Corioliskreisels.
- 15

- Eine dem zweiten alternativen Verfahren zugrunde liegende wesentliche Erkenntnis ist, dass die "Durchlaufzeit" einer Störung, also einer künstlichen Änderung der Ausleseschwingung durch Beaufschlagen des Resonators mit entsprechenden Störkräften, durch den Resonator, d. h. die Zeit, die ab dem Wir-
- 20 ken der Störung am Resonator bis zum Abgriff der Störung als Teil des Auslesesignals verstreicht, von der Frequenz der Ausleseschwingung abhängt. Damit ist die Verschiebung zwischen der Phase des Störsignals und der Phase des in dem
- 25 Auslesesignal enthaltenen Störanteilsignals ein Maß für die Frequenz der Ausleseschwingung. Es lässt sich zeigen, dass die Phasenverschiebung ein Minimum annimmt, wenn die Frequenz der Ausleseschwingung mit der Frequenz der Anregungsschwingung im Wesentlichen übereinstimmt. Wenn man daher die Frequenz der Ausleseschwingung so regelt, dass die Phasenverschiebung ein Minimum
- 30 annimmt, so ist damit gleichzeitig die Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung im Wesentlichen abgestimmt.

- Bei einem dritten alternativen Verfahren zur elektronischen Abstimmung der Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung in
- 35 einem Corioliskreisels wird der Resonator des Corioliskreisels mittels einer Störkraft so beaufschlagt, dass a) die Anregungsschwingung im Wesentlichen unbeeinflusst bleibt, und b) die Ausleseschwingung so geändert wird, dass ein die

- 1 Ausleseschwingung repräsentierendes Auslesesignal einen entsprechenden Störanteil enthält, wobei die Störkraft definiert ist als diejenige Kraft, die durch das Signalrauschen im Auslesesignal hervorgerufen wird. Die Frequenz der Ausleseschwingung wird hierbei so geregelt, dass die Größe des in dem Auslesesignal enthaltenen Störanteils, d.h. der Rauschanteil, möglichst klein wird.

Unter "Resonator" wird hierbei das gesamte in Schwingung versetzbare Massensystem des Corioliskreisels verstanden – also der mit Bezugsziffer 2 gekennzeichnete Teil des Corioliskreisels. Wesentlich hierbei ist, dass die Störkräfte auf den Resonator lediglich die Ausleseschwingung, nicht jedoch die Anregungsschwingung ändern. Unter Bezugnahme auf Fig. 2 würde dies bedeuten, dass die Störkräfte nur den zweiten Resonator 4 beaufschlagen, nicht jedoch den ersten Resonator 3.

- 15 Eine dem dritten alternativen Verfahren zugrunde liegende wesentliche Erkenntnis ist, dass ein Störsignal in Form von Signalrauschen, das direkt im Ausleseschwings-Abgriffssignal bzw. am Eingang der Regelkreise (Drehratenregelkreis/Quadraturregelkreis) auftritt, nach "Durchgang" durch die Regelkreise und den Resonator umso stärker im Ausleseschwings-Abgriffssignal beobachtbar ist, je weniger die Frequenz der Ausleseschwingung mit der Frequenz der Anregungsschwingung übereinstimmt. Das Signalrauschen, das das Signalrauschen der Ausleseschwings-Abgriffselektronik bzw. der random walk des Corioliskreisels ist, beaufschlagt nach "Durchlauf" durch die Regelkreise die Kraftgeber und erzeugt somit entsprechende Störkräfte, die den Resonator beaufschlagen und damit eine künstliche Änderung der Ausleseschwingung hervorrufen. Die "Durchschlagsstärke" einer derartigen Störung auf das Ausleseschwings-Abgriffssignal ist also ein Maß dafür, wie genau die Frequenz der Ausleseschwingung mit der Frequenz der Anregungsschwingung übereinstimmt. Wenn man also die Frequenz der Ausleseschwingung so regelt, dass die Durchschlagsstärke ein Minimum annimmt, d.h. dass die Größe des in dem Ausleseschwings-Abgriffssignal enthaltenen Störanteils, d.h. des Rauschanteils, minimal wird, so ist damit gleichzeitig die Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung abgestimmt.
- 30
- 35 Das zuerst beschriebene erfindungsgemäße Verfahren zur elektronischen Abstimmung der Ausleseschwingsfrequenz kann mit dem zweiten alternativen Verfahren und/oder dem dritten alternativen Verfahren beliebig kombiniert wer-

- 1 den. Beispielsweise ist es möglich, bei Inbetriebnahme des Corioliskreisels das
zuerst beschriebene Verfahren anzuwenden (schnelles Einschwingverhalten),
und anschließend das dritte alternative Verfahren (langsamer Regelprozess) im
eingeschwungenen Betrieb anzuwenden. Konkrete technische Ausgestaltungen
5 sowie weitere Details zu den Verfahren kann der Fachmann den Patentanmel-
dungen "Verfahren zur elektronischen Abstimmung der Ausleseschwingungsfre-
quenz eines Corioliskreisels", LTF-191-DE und LTF-192-DE desselben Anmel-
ders entnehmen, in denen jeweils das zweite alternative Verfahren bzw. das drit-
te alternative Verfahren beschrieben sind. Der gesamte Inhalt der Patentanmel-
10 dungen LTF-191-DE/LTF-192-DE sei hiermit in die Beschreibung mit aufgenom-
men.

15

20

5

30

35

Patentansprüche

- 1 1. Verfahren zur elektronischen Abstimmung der Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung in einem Corioliskreis (1'), wobei
 - der Resonator (2) des Corioliskreisels (1') durch eine Störkraft so beaufschlagt wird, dass
- 5 a) die Anregungsschwingung im Wesentlichen unbeeinflusst bleibt, und
b) die Ausleseschwingung so geändert wird, dass ein die Ausleseschwingung repräsentierendes Auslesesignal einen entsprechenden Störanteil enthält, wobei
 - die Frequenz der Ausleseschwingung so geregelt wird, dass die Größe des
- 10 in dem Auslesesignal enthaltenen Störanteils möglichst klein wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Störkraft durch ein Störsignal erzeugt wird, das auf jeweilige Regel-/Rückstellsignale zur Regelung/Kompensation der Ausleseschwingung aufaddiert wird.
- 15 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Störsignal ein Wechselsignal ist.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Störsignal eine feste Störfrequenz aufweist, und der Störanteil aus dem Auslesesignal durch Demodulieren des Auslesesignals mit der festen Störfrequenz ermittelt wird.
- 20 5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Störsignal bandbegrenztes Rauschen ist, und eine Demodulation des Störanteils aus dem Auslesesignal durch Korrelation des Störsignals mit dem Auslesesignal erfolgt.
- 25 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Störsignal zum Ausgangssignal des Drehratenregelkreises hinzuaddiert wird, und der Störanteil aus einem Signal ermittelt wird, das an einem Quadraturregler (17) des Quadraturregelkreises anliegt oder von diesem ausgegeben wird.
- 30

- 1 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**,
dass das Störsignal zum Ausgangssignal des Quadraturregelkreises hinzuaddiert
wird, und der Störanteil aus einem Signal ermittelt wird, das an einem Dreh-
ratenregler (21) des Drehratenregelkreises anliegt oder von diesem ausgegeben
5 wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**,
dass das Störsignal auf das Ausgangssignal des Quadraturregelkreises aufad-
diert wird, und der Störanteil aus einem Signal ermittelt wird, das an einem
10 Quadraturregler (17) des Quadraturregelkreises anliegt oder von diesem ausge-
geben wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**,
dass das Störsignal zum Ausgangssignal des Drehratenregelkreises hinzuaddiert
15 wird, und der Störanteil aus einem Signal ermittelt wird, das an einem Dreh-
ratenregler (21) des Drehratenregelkreises anliegt oder von diesem ausgegeben
wird.
10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekenn-**
20 **zeichnet**, dass die Frequenzregelung der Ausleseschwingung durch Regelung
der Stärke eines elektrischen Felds erfolgt, in dem ein Teil des Resonators (2)
des Corioliskreisels (1') schwingt.
11. Corioliskreisel (1'), der einen Drehratenregelkreis und einen Quadratur-
regelkreis aufweist, **gekennzeichnet durch** eine Einrichtung zur elektronischen
Abstimmung der Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anre-
gungsschwingung, mit:
5 - einer Störeinheit (26), die auf den Drehratenregelkreis oder den Quadra-
turregelkreis ein Störsignal gibt,
30 - einer Störsignal-Detektiereinheit (27), die einen Störanteil ermittelt, der
in einem die Ausleseschwingung repräsentierenden Auslesesignal enthalten ist
und durch das Störsignal erzeugt wurde, und
- einer Regeleinheit (28), die die Frequenz der Ausleseschwingung so regelt,
35 wird, dass die Größe des in dem Auslesesignal enthaltenen Störanteils möglichst klein

1 12. Corioliskreisel (1') nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die
Störeinheit (26) das Störsignal auf den Drehratenregelkreis gibt, und die Stör-
signal-Detektiereinheit (27) den Störanteil aus einem Signal ermittelt, das an ei-
nem Quadraturregler (17) des Quadraturregelkreises anliegt oder von diesem
5 ausgegeben wird.

13. Corioliskreisel (1') nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die
Störeinheit (26) das Störsignal auf den Quadraturregelkreis gibt, und die Stör-
signal-Detektiereinheit (27) den Störanteil aus einem Signal ermittelt, das an ei-
nem Drehratenregler (21) des Drehratenregelkreises anliegt oder von diesem
10 ausgegeben wird.

14. Corioliskreisel (1') nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die
Störeinheit (26) das Störsignal auf den Drehratenregelkreis gibt, und die Stör-
signal-Detektiereinheit (27) den Störanteil aus einem Signal ermittelt, das an ei-
nem Drehratenregler (21) des Drehratenregelkreises anliegt oder von diesem
15 ausgegeben wird.

15. Corioliskreisel (1') nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die
Störeinheit (26) das Störsignal auf den Quadraturregelkreis gibt, und die Stör-
signal-Detektiereinheit (27) den Störanteil aus einem Signal ermittelt, das an ei-
nem Quadraturregler (17) des Quadraturregelkreises anliegt oder von diesem
20 ausgegeben wird.

5 16. Corioliskreisel (1') nach einem der Ansprüche 11 bis 15, **dadurch gekenn-
zeichnet**, dass das Störsignal ein Wechselsignal mit einer festen Störfrequenz
ist, und die Einrichtung zur elektronischen Abstimmung von Auslese-
schwin- gungs- und Anregungsschwingungsfrequenz eine Demodulationseinheit (27) auf-
weist, die das Auslesesignal bei der festen Störfrequenz demoduliert und damit
30 den im Auslesesignal enthaltenen Störanteil ermittelt.

Zusammenfassung

**Verfahren zur elektronischen Abstimmung
der Ausleseschwingungsfrequenz eines Corioliskreisels**

Beim Verfahren zur elektronischen Abstimmung der Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung in einem Corioliskreisel (1') gemäß der Erfindung wird der Resonator (2) des Corioliskreisels (1') mittels einer Störkraft so beaufschlagt, dass die Anregungsschwingung im Wesentlichen unbeeinflusst bleibt, wobei die Ausleseschwingung so geändert wird, dass ein die Ausleseschwingung repräsentierendes Auslesesignal einen entsprechenden Störanteil enthält. Die Frequenz der Ausleseschwingung wird so geregelt, dass die Größe des in dem Auslesesignal enthaltenen Störanteils minimal wird.

(Fig. 1)

Fig. 1

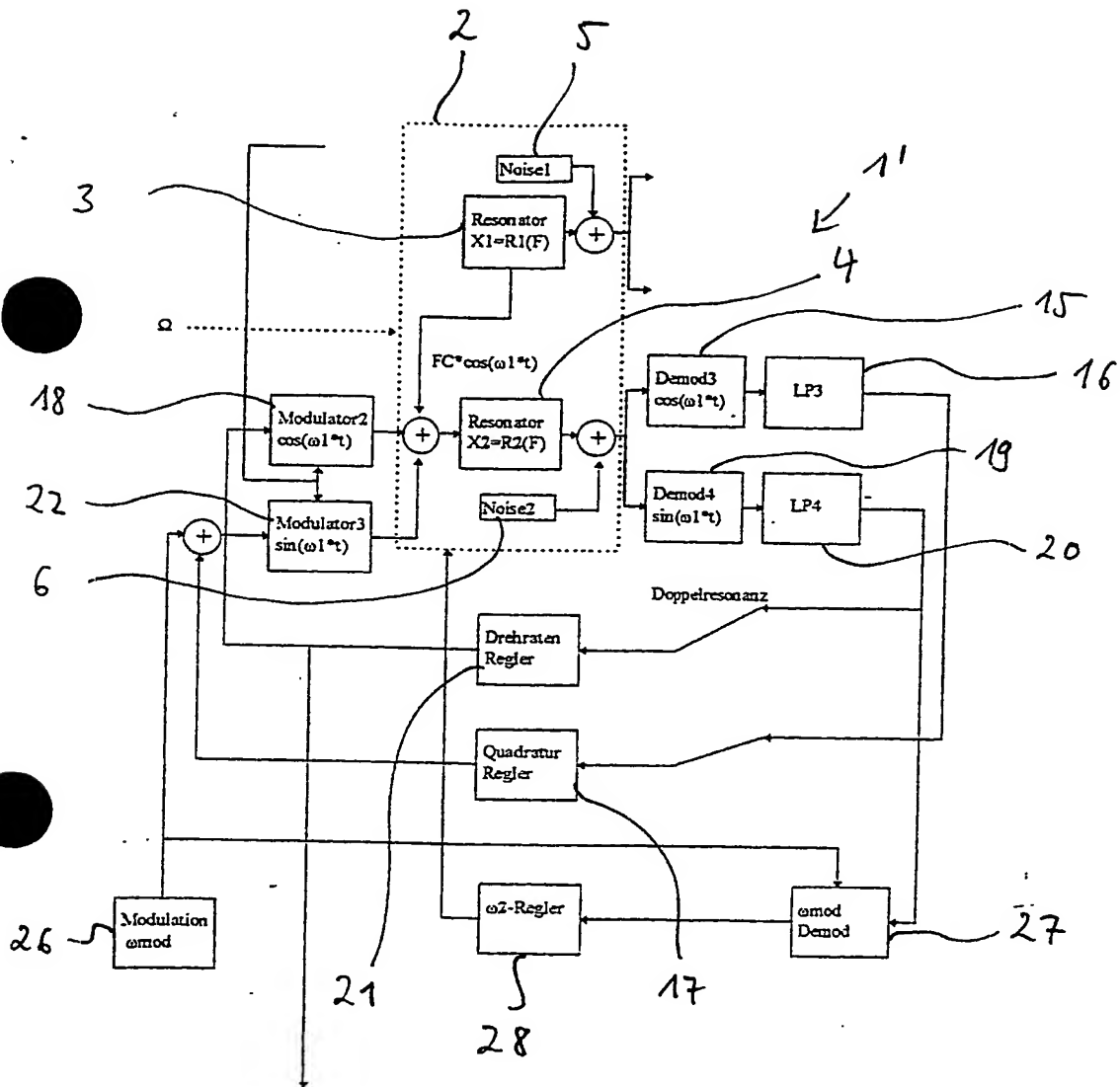
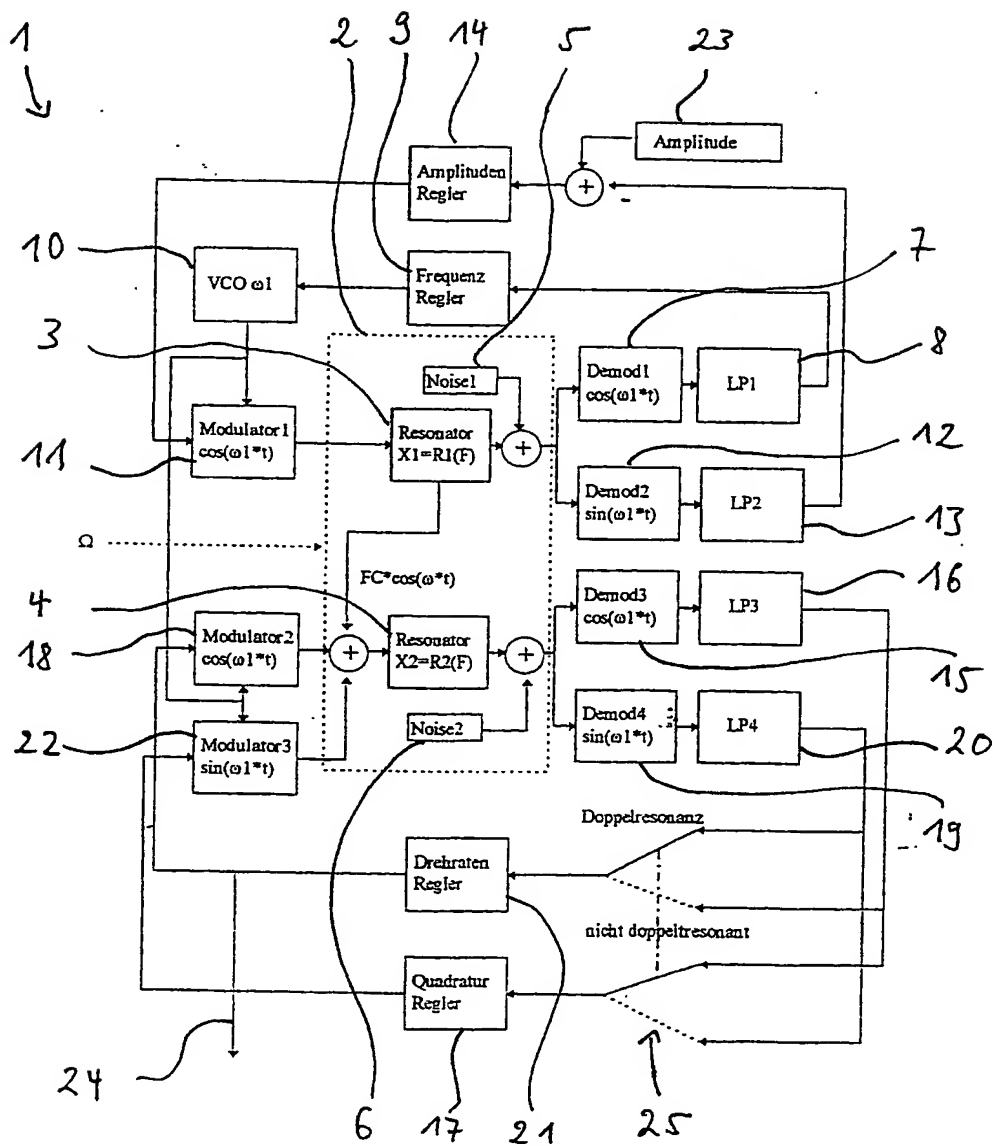


Fig. 2



Figur für die Zusammenfassung

Fig. 1

